

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-083454

(43)Date of publication of application : 26.03.1999

(51)Int.Cl.

G01B 11/24
G06T 7/00

(21)Application number : 09-245272

(71)Applicant : CITIZEN WATCH CO LTD

(22)Date of filing : 10.09.1997

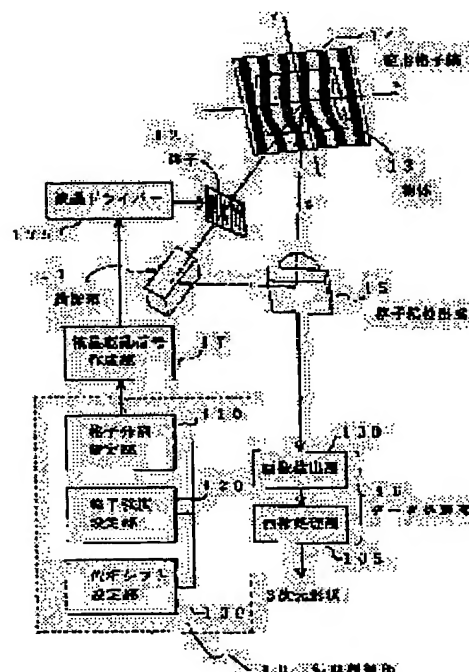
(72)Inventor : FUJITA HIROO
YOSHIZAWA TORU
OTANI YUKITOSHI

(54) THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASURING DEVICE USING GRID PATTERN PROJECTION METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the measurement accuracy and reliability and enhance the contrast of deformed grid stripes so as to allow two-dimensional picture processing with a high S/N ratio to calculate three-dimensional shape by dividing N pieces of striped electrodes into the number of groups obtained from dividing N by an integer (n) and by forming one line of sine-wave grid for each group.

SOLUTION: A grid 12 is formed by inputting forming conditions such as intensity level and the like into a process control part 18. A grid division setting part 110 sets a dividing condition to divide one period of a sine wave into (n) equal parts. At this time, N pieces of striped electrodes N are divided into N/(n) groups using electrodes with (n) to be a multiple of 3 or 4 as a unit. In order to form one line of a sine-wave grid from electrodes as many as (n), sine-wave grid stripes as many as N/(n) are formed. A grid intensity setting part 120 makes and stores data when one period of a sine wave is divided into (n) parts and a phase shift setting part 130 sets the phase of the distribution of the sine-wave grid. Then, a liquid crystal driving signal formation part 17 generates a driving signal for a liquid crystal element based on the stored sine-wave intensity data.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

10.08.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-83454

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51) Int.Cl.⁸

G 0 1 B 11/24

G 0 6 T 7/00

識別記号

F I

G 0 1 B 11/24

G 0 6 F 15/62

C

4 1 5

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-245272

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月10日

(71) 出願人 000001960

シチズン時計株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目1番1号

(72) 発明者 藤田 宏夫

埼玉県所沢市大字下宮字武野840番地 シ

チズン時計株式会社技術研究所内

(72) 発明者 吉澤 徹

東京都府中市新町1-19-5

(72) 発明者 大谷 幸利

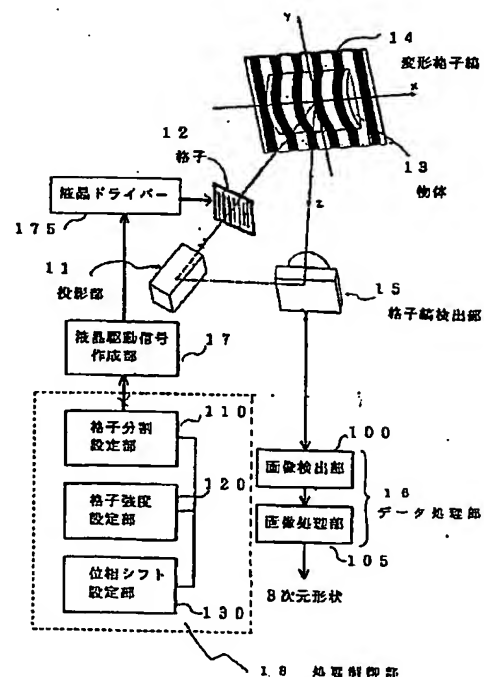
東京都立川市柏町4-51-1

(54) 【発明の名称】 格子パターン投影法を用いた3次元形状測定装置

(57) 【要約】

【課題】 格子パターン投影法を用いた3次元形状測定において、形状とピッチ及び強度レベルが自在に可変できる正弦波強度分布を有する格子パターンを作成し、リアルタイムで高精度な3次元形状測定装置を実現すること。

【解決手段】 液晶素子に一定のピッチと幅を有するストライプ電極をN本形成し、3あるいは4の倍数となる電極数nを一つの単位として、ストライプ電極をN/n個のグループに分割する。各グループあたりで1本ずつの正弦波格子を作成するとき、nを変えることで正弦波格子の幅とピッチを可変とし、正弦波のバイアス強度と振幅を変えることで正弦波の強度レベルを可変とする。液晶素子のスタティック駆動により正弦波強度を有する格子を作成するとき、正弦波の一周期がn分割されたときの各領域の強度に対応する実効電圧を、二値強度レベルのパルス信号の位相を変化させることで作成する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ハロゲンランプなどの白色光源を有する投影部と、該投影部と測定される物体の間に設けられ該物体の表面に格子パターンを投影するための格子と、前記物体の凹凸に応じて変形され該物体の表面に形成される格子縞を検出する CCD カメラからなる格子縞検出部と、該格子縞検出部で検出された 2 次元画像を解析するデータ処理部とを備え、物体の 3 次元形状を測定する格子パターン投影法を用いた 3 次元形状測定装置であって、

一定のピッチと幅を有するストライプ状の電極が N 本形成されている液晶素子からなる格子と、該格子に格子パターンを発生させる液晶ドライバと、前記格子パターンを発生させるために前記ストライプ状の電極に印加する液晶駆動信号を作成する液晶駆動信号作成部と、測定される物体の表面形状に対応する格子パターンを形成するための正弦波強度データを作成する処理制御部とを備え、該処理制御部は前記ストライプ状の N 本の電極を 3 あるいは 4 の倍数である電極数 n で分割し N/n 個のグループを形成し各々のグループごとに正弦波状の強度分布を有する格子を 1 本ずつ作成する格子分割設定部と、前記電極数 n に応じて正弦波の一周期を n 等分に分割し該分割された各々の領域の正弦波の振幅と該正弦波のバイアス強度との和である正弦波格子の強度を強度データとして記憶する格子強度設定部と、前記ストライプ電極の各々に印加して発生させる N/n 本の正弦波強度分布を有する格子パターンの一周期を 3 あるいは 4 分割した周期を単位とし前記ストライプ電極に印加する前記の液晶駆動信号の電圧印加の配列を順次変化させ前記格子パターンの位相を $2\pi/3$ あるいは $\pi/2$ ピッチごとにシフトさせる位相シフト設定部とから構成され、かつ前記処理制御部で形成される正弦波強度データをもとに液晶素子からなる格子に正弦波状の強度分布を有する格子パターンを形成し前記電極数 n を変化させることによって測定される物体の表面形状に適する格子パターンを物体の表面に投影し物体の 3 次元形状を測定することとを特徴とする格子パターン投影法を用いた 3 次元形状測定装置。

【請求項 2】 スタティック型の駆動法により前記ストライプ電極に印加する前記の液晶駆動信号を作成するとき、前記 N 本のストライプ電極と対向した共通電極に印加する一定の周期を有する二値の強度レベルからなるデューティ比が 50% の基準信号に対して、該基準信号と同じ周期とデューティ比をもち、二値の強度レベルを有する信号を作成して前記基準信号との間の位相を変化させ、前記基準信号の半周期の期間に対して逆の位相となる期間の割合を前記の正弦波の振幅とバイアス強度の和の強度に応じて制御し、前記の和の強度に対応した液晶駆動実効電圧を発生させて正弦波強度分布を有する格子パターンを作成することとを特徴とする請求項 1 記載の格

子パターン投影法を用いた 3 次元形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は格子パターン投影法を原理とする 3 次元形状測定装置に関し、特に、物体に投影する格子パターンを液晶素子で作成するときの構成に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、3 次元形状測定のニーズが高まり、特に光学的手段を用いた測定器が望まれている。凹凸の高さ範囲がミクロンメートル (μm) 領域の場合は、レーザ光を用いた干渉計が多く用いられている。しかし、高さがミリメートル (mm) 領域近くになると、干渉縞が密集して干渉縞の解析が困難になるという問題点が生じ、レーザ干渉計が適用されなくなってくる。 mm 領域以上での 3 次元形状測定では、レーザ干渉計と同じく、広がりのある対象物を線あるいは面でとらえるエリア計測法が測定時間、自動計測化の面から有利である。エリア計測法の代表的なものは、モアレ縞による等高線計測法、スリット状のレーザ光を走査する光切断法、白黒の格子模様の直線状の縞を投影する格子パターン投影法などである。この中でも、格子パターン投影法は構成が簡素なこと、測定精度が高いことなどから注目されている。本発明は格子パターン投影法の構成に関する。

【0003】図 2 に格子パターン投影法による従来の 3 次元形状測定装置の構成例を示す。投影部 21 はハロゲンランプなどの照明用光源と投影光学系から構成され、白色光がその前面に置かれた格子 22 を照射する。格子 22 は一定のピッチと形状の白黒模様をもつ多数の直線状パターンから構成されており、そのパターンが投影光学系で拡大され、白黒の格子縞 (格子パターン) として形状が測定される物体 23 の表面に投影される。物体 23 の表面には物体 23 の凹凸度合いに応じて変形 (湾曲) した変形格子パターン (変形格子縞) 24 ができ、凹凸が小さい場合は格子縞の変形が小さく (直線に近い)、凹凸が大きいと格子縞の変形が大きくなる。この変形格子パターン 24 を、投影方向とは異なる角度方向から、CCD カメラからなる格子縞検出部 25 で 2 次元画像として検出する。

【0004】検出された 2 次元画像は物体 23 の凹凸情報を含んでいる。物体 23 の凹凸の大きさは、変形格子パターン 24 が基準となる直線縞からどれだけ離れているかを検出することで評価できる。そこで、パーソナルコンピュータなどのデータ処理部 26 により、2 次元画像の各画素ごとの座標 $p(x, y)$ での格子縞の変形を全画素について解析し、物体 23 の 3 次元座標 $P(X, Y, Z)$ を決定する。このときのデータ処理は、投影部 21、物体 23、格子縞検出部 25 の相互の距離と見込み角度の関係から定まる三角測量法の原理によって行

う。

【0005】以上の格子パターン投影法を用いた3次元形状測定装置では、変形格子縞24は物体23の凹凸形状に応じて変形するため、凹凸の程度に応じた形状とピッチをもった格子パターンを物体23に投影する必要がある。凹凸が大きい場合は格子パターンのピッチが大きく、凹凸が小さいほど格子パターンのピッチは小さいことが望ましい。また、格子パターンの強度分布も後述する位相シフト法にとって重要である。そのため、格子22の形状とピッチ、及び強度分布特性が3次元形状測定の高精度化と高信頼化にとって重要である。従来から最も一般に用いられていた格子22は、主として、一定の形状とピッチ（共に固定）をもった白黒の二値強度から構成していた。そこで、形状、ピッチの異なる格子を数種類用意しておき、物体23の凹凸度合いに応じて格子を選択して使用していた。

【0006】前述の白黒二値格子を用いる場合よりも高精度な3次元形状測定のためには、正弦波状に強度が変化する正弦波格子を用いた位相シフト法が有効である。これは、レーザ干渉計で用いられている技術であって、正弦波状の強度分布を有する格子パターンを物体23に投影し、正弦波格子の位相を $\pi/2$ ピッチ毎にシフトさせ、投影された各位置での強度分布を周期的に変化させる技術である。このとき、位相が異なる4枚の2次元画像を検出し、それらの画像の強度分布を解析して凹凸形状を検出するという方法である。この位相シフト法を格子パターン投影法に応用した技術は、小松原、吉澤による下記論文、“縞走査を導入した格子パターン投影法：精密工学会誌55/10/1989(1817-1822)”、及び、“縞走査を導入した格子パターン投影法（第2報）：精密工学会誌58/7/1992(1173-1178)”に詳細に示されている。

【0007】上記の正弦波格子による位相シフト法において、正弦波格子の作成には以下の二種類の方法が多く使われていた。第一は、前述した強度が二値的（白黒）に変化する格子を利用する方法である。格子22が二値強度から構成されていても、ランプで照明された格子22が物体23の面上に作る格子パターンは、回折作用などによって、ステップ的に強度が変化するエッジ部付近で強度がぼける現象がある。このときは、変形格子縞24の強度は疑似的な正弦波になる。さらには、格子パターンに焦点ズレを与えることでも疑似的な正弦波を作成することができる。この二値強度をもつ格子は、フィルムやガラス基板に二値強度格子を直接に印刷する方法、あるいは液晶素子を用い、透過光強度を電氣的にON/OFF制御して二値格子を作成する方法がとられていた。正弦波格子を作成する第二の方法は、正弦波状に強度が変化するパターンをフィルムやガラス基板に直接に印刷するものであって、一定のピッチと形状をもった正弦波格子が作成される。最近では、液晶式ビデオプロジ

ェクターを用いる方法も用いられてきた。これは、マトリックス型に構成された液晶駆動電極に正弦波が得られるような電気信号を印加して正弦波格子を作成するものである。

【0008】正弦波格子の位相シフトは次の方法が用いられている。フィルムに作られた格子の場合は、モーター、アクチュエータなどの外部移動手段により、格子22を所定のピッチ（例えば格子の一周期の1/4の長さ）毎に機械的に移動し、物体23の面上の各位置での格子パターン強度を周期的に変化させることで位相シフトを行っていた。液晶素子を用いて格子22を作成する場合は、二値強度で格子縞を作成する場合も、液晶ビデオプロジェクターで正弦波格子縞を作成する場合も、共に液晶素子の各画素の強度を電気信号で順次変調させることで位相シフトを行っていた。例えば、格子パターンの一周期を4分割して、 $\pi/2$ ピッチごとに強度を変化させて4枚の2次元画像を検出していた。なお、この位相シフト法は、格子パターンの一周期を3分割することで $2\pi/3$ ピッチごとに位相をシフトさせ、3枚の2次元画像を検出する方法も用いられている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】フィルム、ガラス基板などに格子22を作成する場合は、格子パターンの形状やピッチ、強度分布は固定である。精度のよい3次元形状測定のためには、物体23の凹凸に応じた形状、ピッチをもつ格子パターンを投影する必要がある。しかし、フィルムなどに書き込んだ格子では、格子のピッチなどを可変することができない。そのため、ピッチ、形状などが異なる多数の格子を予め何種類か準備しておき、測定する物体に応じて使い分ける必要があった。そのため、操作性が悪く、測定時間が長い、などの使用上の問題点があった。

【0010】フィルムなどで作成した正弦波格子の位相シフトをさせるとき、格子22をアクチュエータなどを用いて機械的に移動させる必要がある。1回の形状測定につき、この移動を2～3回程度行うために測定時間が長くなり、リアルタイム的な測定ができなくなるという問題点がある。特に動きのある物体の場合は測定不能になってしまう。また、位相シフトの場合は格子22を正確に $\pi/2$ ピッチ、あるいは $2\pi/3$ ピッチで移動させる必要がある。特に、格子22のピッチが短い場合、移動精度、移動分解能が共に高いアクチュエータが必要となる。そのために、装置コストが高くなること、装置が大きくなることなどの問題点がある。

【0011】液晶素子で二値強度パターンの格子22を作成する場合は、3次元形状の測定精度が低下するという問題がある。回折作用などによってエッジ部付近にボケが生じた効果で疑似的な正弦波格子が作成されたとしても、パターン中央部付近の強度は二値的であるため、正常な正弦波格子に対して高調波成分が発生してしま

う。そのため、位相シフトさせた後の2次元画像のデータ処理で形状誤差が発生する。また、焦点ハズレを与えたときは格子パターンのコントラスト特性が低下し、CCDカメラによる画像検出のS/N比が低下する。液晶ビデオプロジェクターで正弦波パターンを作成した場合は、マトリックス状の電極構成のため各画素が点状に分布している。そのため、特に格子パターンのy軸方向の不連続性が強調され、3次元形状を連続的に検出できない。さらには、マトリックス駆動では多数の電圧レベルで液晶駆動信号を作成するため、駆動回路が複雑になると共に、精度のよい正弦波が作成できない。以上のことから、液晶素子による従来の格子の作成では、測定精度と信頼性の低下という大きな問題点があった。

【0012】以上の諸課題を解決するため、本発明は物体に投影する格子パターンを液晶素子を用いて作成するとき、格子パターン形状、パターンピッチが自在に変えられと共に、精度のよい正弦波強度分布をもった格子を作成する構成に関するもので、装置の構成が簡素で高精度、汎用性に富んだ3次元形状測定機を実現することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために本発明における格子パターン投影法を用いた3次元形状測定装置は、液晶素子からなる格子と、格子パターンを形成するための液晶ドライバ及び液晶駆動信号作成部と、前記格子パターンを制御する処理制御部とを備え、該処理制御部は格子分割設定部と格子強度設定部と位相シフト設定部とで構成されている。更に、前記液晶素子に一定のピッチと幅を有するストライプ状の電極をN本形成し、3あるいは4の倍数の電極数nで前記ストライプ状電極をN/n個のグループに分割し、各々のグループごとに正弦波状の強度分布を有する格子を1本ずつ作成し、前記電極数nに応じて前記正弦波の一周周期をn等分に分割し、該分割された各々の領域の正弦波の振幅と、該正弦波のバイアス強度との和の強度に対応する液晶駆動信号を前記ストライプ電極の各々に印加して正弦波強度分布を有する格子パターンをN/n本発生させると共に、該格子パターンの一周周期を3あるいは4分割した周期を単位とし、前記ストライプ電極に印加する前記の液晶駆動信号の電圧印加の配列を順次変化させ、前記格子パターンの位相を $2\pi/3$ 、あるいは $\pi/2$ ピッチごとにシフトさせる構成とし、前記電極数nを変化させることによって測定される物体の表面形状に適する格子パターンを形成するように構成されている。

【0014】更に、スタティック型の駆動法により前記ストライプ電極に印加する前記の液晶駆動信号を作成するとき、前記N本のストライプ電極と対向した共通電極に印加する一定の周期を有する二値の強度レベルからなるデューティ比が50%の基準信号に対して、該基準信号と同じ周期とデューティ比をもち、二値の強度レベル

を有する信号を作成して前記基準信号との間の位相を変化させ、前記基準信号の半周期の期間に対して逆の位相となる期間の割合を前記の正弦波の振幅とバイアス強度の和の強度に応じて制御し、前記の和の強度に対応した液晶駆動実効電圧を発生させて正弦波強度分布を有する格子パターンを作成する構成である。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明は、液晶素子を用いて正弦波状の強度分布をもつ格子パターンを作成する構成に関する。一定の幅とピッチを有する多数のストライプ電極を形成し、3あるいは4の倍数の電極数を一単位としてストライプ電極をいくつかのグループに分割し、各グループ当たりで1本の正弦波格子を作成する。ただし、上記の分割という意味は幾何学的な分割ではなく、電気的な分割である。このとき、正弦波の振幅成分とバイアス成分、及び格子パターン形状が共に可変な正弦波強度の格子パターンを作成する。3の倍数の場合、正弦波の一周周期を6、9、12などに分割し、4の倍数の場合は、同じく8、12、16などに分割する。例えば、ストライプ電極を総数で1008本形成したとき、12本の電極を一単位として1本の正弦波格子を作成する場合、全体で84本の格子パターンが作成できる。このようにして、正弦波の一周周期の分割数を変えることにより、正弦波格子のピッチ、パターン幅、格子パターンの本数などを自在に可変する。

【0016】液晶素子で正弦波格子を作成する場合は、位相シフトが重要である。正弦波格子を前記の3の倍数の電極数を一単位として分割する場合は、正弦波の一周周期を3分割することができる。4の倍数の場合は、同じく4分割できる。3分割の場合は $2\pi/3$ ピッチの位相シフトで、3枚の画像から3次元形状を測定する。4分割の場合は $\pi/2$ ピッチでの位相シフトで、4枚の画像から3次元形状を測定する。このとき、各ストライプ電極を駆動する駆動信号の電圧印加の順序を時間的に変化させることで位相シフトを行う。

【0017】ストライプ電極に駆動信号を供給して正弦波格子を作成する場合は、スタティック型の駆動が有利である。スタティック駆動では、各ストライプ電極を独立に駆動するため、各電極に任意の駆動電圧を印加でき、高コントラストの格子パターンが作成できる。ツイストネマチック(TN)液晶の場合、各電極に印加された液晶駆動実効電圧の大きさに応じて液晶分子が変形し、光透過強度特性(コントラスト)が決まる。そこで、TN液晶を用いて正弦波格子を作成するとき、前述の電極分割数に応じて分割された各領域での正弦波の振幅とバイアス強度との和の強度に対応する実効電圧が得られるように、ストライプ電極に印加する駆動信号を作成する。このとき、正弦波の振幅とバイアス強度を個別に設定することで、物体面上に投影した格子パターンの背景の明暗と共にコントラストを個別に自在に設定す

る。

【0018】スタティック駆動での正弦波格子の作成では、ストライプ電極と対向した位置に設けた共通電極の駆動信号である、一定の周波数で二値の強度レベルを有する基準信号に対して、それと同一周波数を持ち、二値強度レベルで位相が異なる信号をストライプ電極に印加する。このとき、分割された各領域での正弦波強度に応じて基準信号に対する位相を変化させるが、基準信号とストライプ電極駆動信号が逆位相となる期間の長さで液晶間にかかる実効電圧が決まる。そこで、逆位相の期間を正弦波強度の大きさに応じて変えることで正弦波格子を作成する。

【0019】

【実施例】図1に本発明による格子パターン投影法を用いた3次元形状測定装置の構成ブロック図を示す。投影部11はハロゲンランプなどの照明用光源と投影光学系から構成され、白色光がその前面に置かれた格子12を照射する。格子12は液晶素子から構成され、液晶素子の一方のガラス基板は1本の共通電極、対向するガラス基板は一定のピッチ、形状をもつN本のストライプ状（直線状）の電極パターンから構成される。すなわち、格子12はスタティック型の電極構造である。格子12は投影部11で照明され、格子12のパターンが拡大されて形状が測定される物体13に投影される。物体13の表面にできた変形格子縞14は、物体13の凹凸の度合いに応じて変形（湾曲）する。この変形格子縞14を投影方向とは異なる角度方向に設けたCCDカメラからなる格子縞検出部15で2次元画像として検出する。

【0020】本装置は格子12の制御を行う処理制御部18と変形格子縞14の2次元画像処理を行うデータ処理部16とを備えている。データ処理部16における画像検出部100は、変形格子縞14の2次元画像の強度をA/D変換してメモリー回路に記憶する。画像処理部105は、2次元画像を三角測量の原理で画像処理し、3次元形状を算出する。本発明は液晶素子を用いて正弦波強度をもつ格子パターン（格子縞）を作成する構成で、特に、投影する格子パターンの形状、強度レベルなどの作成条件を処理制御部18に入力することで、自在な形状と強度をもった格子12を作成する。処理制御部18による格子12の制御を以下に説明する。格子分割設定部110は正弦波の一周期をn等分に分割するための分割条件を設定する。このとき、3あるいは4の倍数となる数nの電極数を一つの単位としてN本のストライプ電極をN/n個のグループに分割する。このとき、n本の電極数で1本の正弦波格子を作成するため、全部でN/n本の正弦波格子縞を作成する。

【0021】格子強度設定部120は、正弦波の一周期がn分割されたときの正弦波強度に関するデータを作成、記憶する。nは変数であるため、分割された強度データは可変となる値である。正弦波の強度はバイアス強

度と振幅によって決まる。バイアス強度とは正弦波の振幅が0の場合の直流的なオフセット強度で、投影された格子パターンの背景の明るさを表す。振幅は正弦波の大きさと、投影された格子パターンの明部と暗部の間のコントラストを表す。そこで、正弦波の一周期をn分割したとき、分割された各々の領域の正弦波の振幅とバイアス強度の和の強度を計算し、n個の強度データを数値配列情報としてメモリー回路に記憶する。

【0022】位相シフト設定部130は、正弦波格子の強度分布の位相を設定する。n本の電極数で1本の正弦波格子を作成する際、nが3の倍数の場合は $2\pi/3$ 、nが4の倍数の場合は $\pi/2$ のピッチで正弦波強度の位相をシフトさせる。位相シフトでは正弦波の強度データの値そのものは変化せず、各ストライプ電極に印加する電圧の印加順序を変えるだけでよい。

【0023】以上で正弦波格子の作成と位相シフトを与える条件が設定でき、メモリー回路に記憶した正弦波強度データをもとにして、液晶駆動信号作成部17で液晶素子を駆動する信号を作成する。TN液晶の場合、共通電極とストライプ電極の間に加わる実効電圧に応じて液晶の光透過特性が決まる。そこで、処理制御部18で作成された正弦波強度データから、正弦波強度に対応した実効電圧値が得られるような駆動信号を作成する。液晶素子はスタティック駆動を行うため、液晶駆動信号は二値の強度レベルをもったパルス信号である。一方の共通電極に印加する共通信号に対して、ストライプ電極に印加する信号の位相を変えることで実効電圧を変化させる。ここで作成された駆動信号を液晶ドライバー175に印加し、液晶素子から成る格子12を駆動して正弦波格子パターンを発生させる。

【0024】図3にストライプ電極を示して、グループ分割について説明する。ストライプ電極31は、一定の幅をもった電極32（黒で表示）と隙間部33（白で表示）があり、電極32がN本形成されている。電極32の幅をw、電極間の隙間幅をtとしたとき、電極ピッチはw+tである。ここで、3あるいは4の倍数となる数nの電極数を一つの単位としてN本のストライプ電極をN/n個のグループに分割し、各グループごとに1本の正弦波格子を作成する。すなわち、n本の電極から正弦波強度分布をもった格子を1本作成する。ここで、例えば、格子分割設定部110でn=12を入力して正弦波の一周期を12分割し、格子強度設定部120で12分割された各領域についての正弦波強度を計算する。

【0025】この正弦波格子の作成において、電極32の幅wに対する隙間部33の幅tが重要である。電極32の各々には正弦波の強度に対応した電圧が印加されるが、隙間部33には電圧が印加されない（ただし、横電界効果で多少の電界は存在する）。本発明による正弦波格子は離散的な強度をもつため、隙間部33での強度の変調を少なくすることが重要である。そのためには、隙

間部33の幅はできるだけ狭いことが必要である。例えば、電極幅 w を $40\mu\text{m}$ としたとき、隙間幅 t は $5\mu\text{m}$ 以下が望ましい。このように、正弦波格子が離散的な強度から成り立っていても、白色光で格子12を照明したとき、回折効果により隙間部33での強度の変調が少なくなり、強度の包絡線が正弦波状になる。この場合は従来例のように焦点位置ズレを行わせる必要はない。実験では、 $n=12$ で十分な精度の正弦波ができることが確認されている。

【0026】図4で正弦波の一周期を n 分割したときの強度の設定を説明する。正弦波の二周期を示している。正弦波41は、直線42で示す強度が0と、直線43で示す飽和強度の間の強度レベルをとり、振幅が a で、強度0の基準に対するバイアス強度が b である。バイアス強度 b は振幅 a が0の場合の、直流的なオフセット強度である。飽和強度は明るさが最大となる強度である。強度が低いときは暗レベル、強度が高いときは明レベルの格子パターンとなる。したがって、振幅 a とバイアス強度 b を個別に設定することにより、格子縞の明暗レベル（コントラスト）を自在に可変できる。正弦波の一周期を n 分割したときの要素44の強度は、分割された各領域の面積に相当する積分強度、あるいは各領域の中央部の高さに相当する平均強度と、バイアス強度との和の強度で表すことができる。

【0027】図5に正弦波の一周期を12分割したときの強度の計算例を示す。例として、振幅とバイアス強度の和の強度を8bitのデジタル強度(D0~D255)で表す場合を説明する。強度が0の場合がD0で、飽和強度の場合がD255である。正弦波の強度幅D255に対し、振幅がD170、バイアス強度がD60の例を示す。図5では強度に応じてグレイレベルの階調を付けている。また、一周期を12分割した各々の要素番号(1~12)における強度値を示す。この強度値の配列を{p}で示すと、1番目、2番目の要素がD60、D84であり、12番目の要素がD60である。以上の強度計算を図1の格子強度設定部120にて行い、この強度値に応じた液晶駆動信号を作成する。なお、図5に示した強度値は各領域の面積に対応した積分強度値である。

【0028】図6に正弦波格子を作成するときの駆動信号の例を示す。図3に示した電極構造から、各電極の縦方向は均一な強度であるから、スタティック型の駆動が有利である。スタティック駆動は、ストライプ電極の各々を個別に駆動するため、各電極に任意の電圧を印加することができ、高コントラストの駆動が可能である。共通信号61は、ストライプ電極を形成するガラス基板と対向するガラス基板に形成された共通電極を駆動する信号で、その一周期が2T、二値の強度レベル0とVをもつデューティ比が50%（HレベルとLレベルの期間が等しい）の信号である。信号62と信号63は、各スト

ライプ電極を駆動する信号で、共通信号61と同じ周期と電圧レベルをもち、位相のみが異なる信号である。ここで、信号62は正弦波強度を小さくする信号、信号63は正弦波強度を大きくする信号である。信号64と信号65は、液晶の対向する電極間にかかる電圧の大きさを表す実効電圧であり、電極間信号64と65は、駆動信号62と63に各々対応している。

【0029】TN液晶の場合、電極間にかかる電圧（実効電圧）で光透過強度が決まり、実効電圧が大きいほど液晶分子の変形が大きくなって明るい状態（光透過が大）になる。そこで、投影する正弦波の強度に応じた実効電圧が得られるように液晶駆動信号を構成する必要がある。ストライプ電極駆動信号62と63において、共通信号61の半周期あたりで逆位相となる期間 t_1 、 t_2 で実効電圧が決まる。信号62は、図5に示した正弦波強度がD84（2番目と11番目の電極）を、信号63は同じくD208（5番目と8番目）を作成するものとする。基準信号61と完全な逆位相となる信号の場合に最も明るいD255の強度が得られるため、 $t_1=84T/255$ 、 $t_2=208T/255$ の関係で逆位相となる期間を設定すればよい。したがって、メモリー回路に記憶されている正弦波のデジタル強度に応じて逆位相期間を設定して実効電圧を決定する。なお、本例では共通信号61とストライプ電極駆動信号62、63は同じ電圧レベルとなる例で示したが、共に二値強度であれば、互いの電圧レベルは異なってもよい。

【0030】格子パターン投影法は、物体の凹凸によって変形した変形格子縞の直線からの湾曲の度合いを検出する。この湾曲の大きさは格子パターンの隣り合った暗部間の距離から求める。そのため、隣り合った縞と縞の間の凹凸形状を細かく測定するためには、暗部と暗部の間の測定点の密度を高くする必要がある。さらには、投影した照明光の強度ムラや物体に最初から付いている模様（ノイズとなる）などの影響を取り除く必要がある。これらの目的のために、正弦波格子の位相シフト（縞走査）が有効である。すなわち、投影格子縞の周期は固定しておき、その周期内で各位置での強度分布を $1/3$ 、あるいは $1/4$ 周期で変化させる。このために、前述したストライプ電極のグループ分割において、 n が3の倍数の場合は $1/3$ 周期（ $2\pi/3$ ピッチ）、 n が4の倍数の場合は $1/4$ 周期（ $\pi/2$ ピッチ）の位相シフトを行う。

【0031】図7に $n=8$ の場合の $1/4$ 周期ごとの位相シフトの例を示す。正弦波71は初期位相が0の基準である。正弦波72、73、74は位相が $\pi/2$ 、 π 、及び $3\pi/2$ と変わった場合である。位相シフトの場合、図6で示したストライプ電極駆動信号自体は変える必要はなく、その電圧印加の順序を変えるだけでよい。例えば、波形71において、一周期を4分割した①、②、③、④の領域に印加する駆動信号の配列が{a、

b、c、d)とする。ただし、a、b、c、dはそれぞれ二つの強度データをもつ。例えば、波形74においては配列の順序を変化させて、{b、c、d、a}の順序で駆動信号を印加することで位相シフトを行わせる。*

$$I(x) = B(x) + A(x) \cos[\phi(x) + \alpha] \quad \text{--- (1)}$$

ここで、 $B(x)$ はバイアス強度、 $A(x)$ は振幅、 α は初期位相であり、位相 $\phi(x)$ が物体の凹凸に応じて変化する。したがって、位相 $\phi(x)$ がわかれば図1に示した光学的配置から3次元形状が決定できる。図7に※

$$\phi(x) = \arctan[(I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)] \quad \text{--- (2)}$$

ここで定まる位相 $\phi(x)$ は $0 \sim 2\pi$ (あるいは $-\pi \sim \pi$)までの値をもち、縞と縞の間の点xにおける凹凸形状の変化の大きさに対応する。

【0033】図8に位相シフト法を用いたときの位相検出例を示す。変形格子縞の2次元画像を検出し、あるy軸のx方向に沿った断面の位相の検出例である。図8

(a)における曲線81は、式(2)にしたがって計算した位相を示し、図8(b)における曲線82は、前記位相を連続して接続したものを表している。図8の横軸はCCDカメラの画素位置、縦軸はrad単位で表した位相である。曲線81の位相分布図から明かなように、物体の凹凸が激しい場所ではx座標の変化に対して位相の変化が大きい(格子縞が密集)。図8に示した凹凸形状の単位は位相であるため、空間座標に変換する必要がある。このときの変換は投影光学系、格子、及びCCDカメラの三者の幾何学的関係から定まる三角測量の原理による変換式から実行できる。なお、この変換式は、従来の技術の項で述べた論文「縞走査法を導入した格子パターン投影法」に述べられているので、本明細書では詳細を省略する。以上述べたごとく、正弦波格子の位相シフトを用いることにより、格子縞の間の凹凸情報を高い空間分解能で検出することができ、3次元形状の測定精度を高めることができる。

【0034】

【発明の効果】上記のごとく本発明による3次元形状測定装置は、液晶素子を用いて正弦波の強度分布を有する格子を作成する。N本のストライプ電極を整数nで除算した数のグループに分割し、各グループあたりで1本ずつの正弦波格子を作成する構成であるため、分割数nを変えることで、正弦波格子の幅とピッチを自在に可変させることができる。その結果、物体の凹凸形状に合わせた形状の格子パターンを物体に投影でき、測定の精度、信頼性が向上する。さらに、本発明では正弦波のバイアス強度と振幅を個別に設定するため、正弦波格子の強度レベルも自在に可変できる。そのため、物体の明るさ、周囲の明るさに応じた格子パターンを投影でき、検出する変形格子縞のコントラストを高めることができ、S/N比のよい2次元画像処理ができる。

【0035】正弦波の一周期をn分割し、各領域での正

*【0032】次に、位相シフトを用いた場合の測定例を説明する。正弦波状の強度分布をもった格子パターンを物体に投影した場合、物体上の点xにおける変形格子縞の強度分布 $I(x)$ は下記の式(1)で与えられる。

※示した1/4周期の位相シフトで α を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ と変化させ、これに対応する強度分布 I_1, I_2, I_3 をもつ4枚の画像を検出する。すると、位相分布 $\phi(x)$ は下記の式(2)で計算される。

弦波強度に対応する実効電圧を液晶に印加するとき、スタティック型の駆動法で液晶を駆動する。これは共通電極を駆動する基準信号に対して、位相の異なる信号を作成するだけでよい。ため、駆動回路の構成が簡素で、精度のよい正弦波強度が作成できる。正弦波強度の位相シフトにおいても、駆動信号の電圧印加の配列順序を変えるだけで位相シフトが実現できるため、機械的な駆動部が不要である。さらには、格子の作成から2次元画像処理までをコンピュータ処理で行うため、リアルタイムでの全自動計測が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の構成と動作を説明するブロック図である。

【図2】従来の3次元形状測定装置の構成を示す図である。

【図3】本発明のストライプ電極構造を説明する図である。

【図4】正弦波の強度を説明する図である。

【図5】本発明による正弦波の一周期を12分割したときの強度レベルを説明する図である。

【図6】スタティック駆動による液晶駆動信号の例を説明する図である。

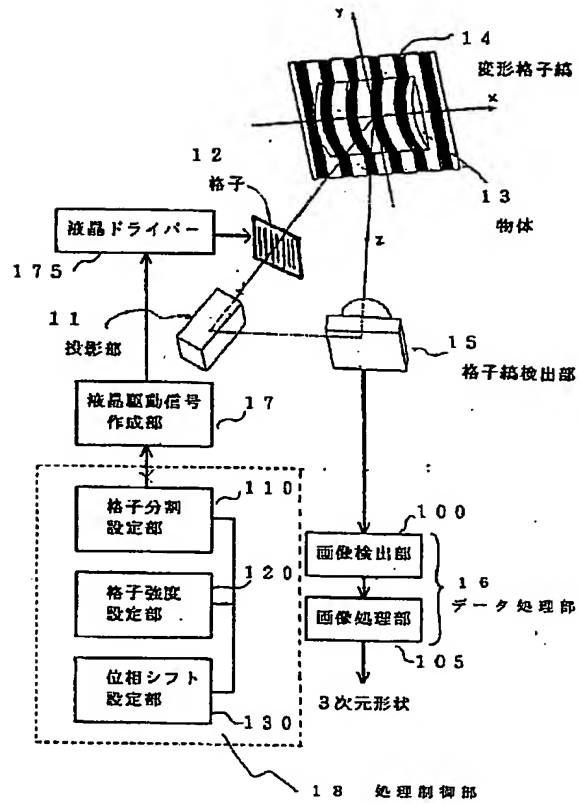
【図7】正弦波の1/4周期での位相シフトを説明する図である。

【図8】位相シフト法を用いた位相検出の例を説明する図である。

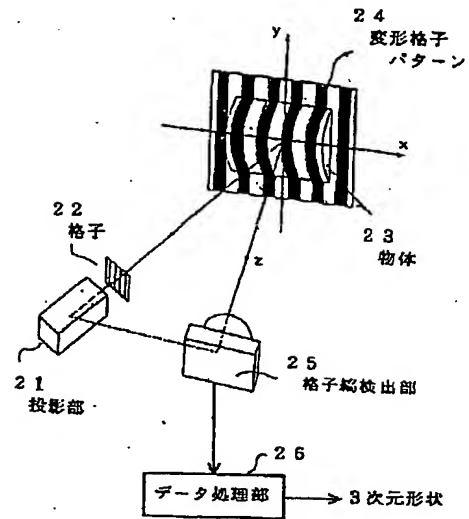
【符号の説明】

- 11 投影部
- 12 格子
- 14 変形格子縞
- 15 格子縞検出部
- 16 データ処理部
- 17 液晶駆動信号作成部
- 18 処理制御部
- 110 格子分割設定部
- 120 格子強度設定部
- 130 位相シフト設定部
- 175 液晶ドライバー

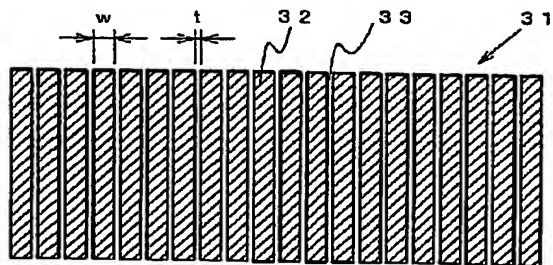
【図1】



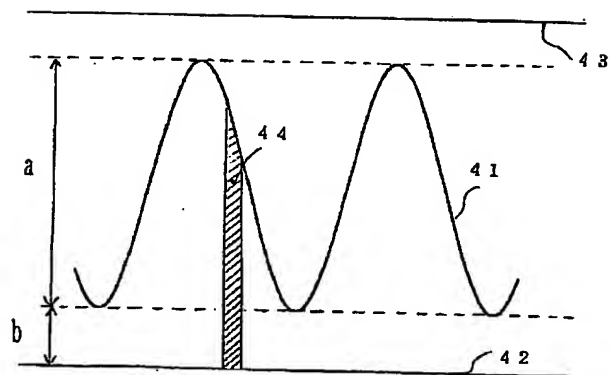
【図2】



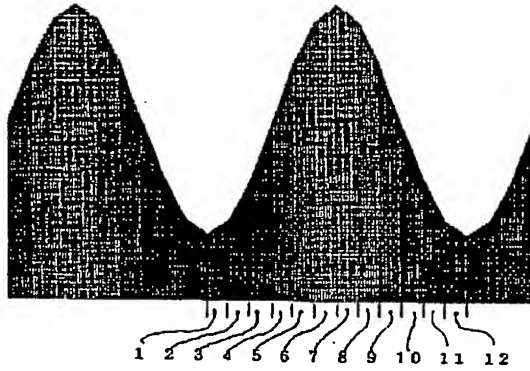
【図3】



【図4】



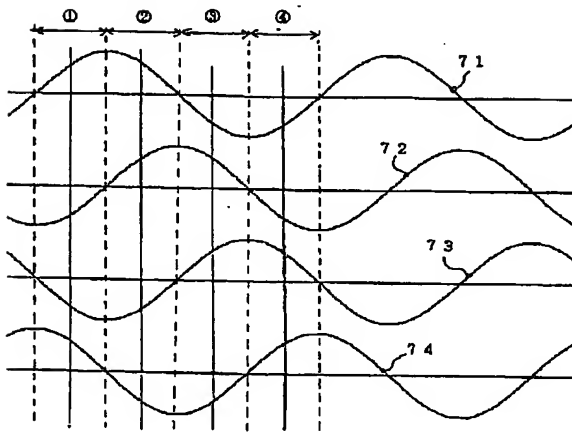
【図5】



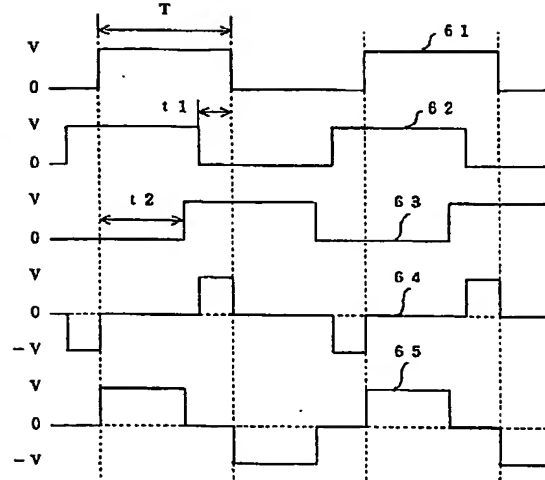
各要素での正弦波強度

1: D60	7: D230
2: D84	8: D208
3: D122	9: D168
4: D168	10: D122
5: D208	11: D84
6: D230	12: D60

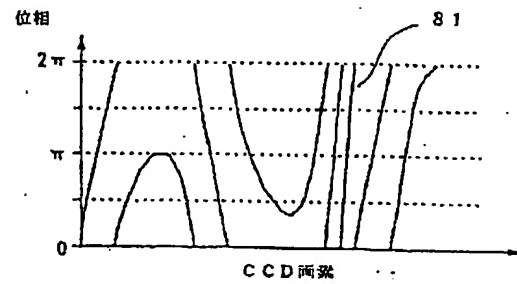
【図7】



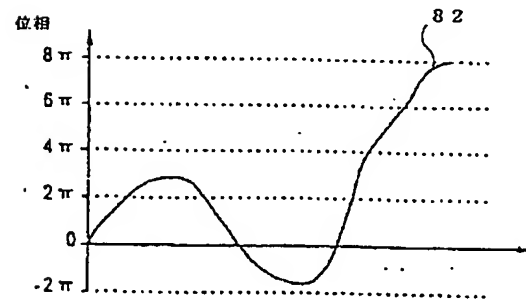
【図6】



【図8】



(a)

CCD画素
(b)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.